

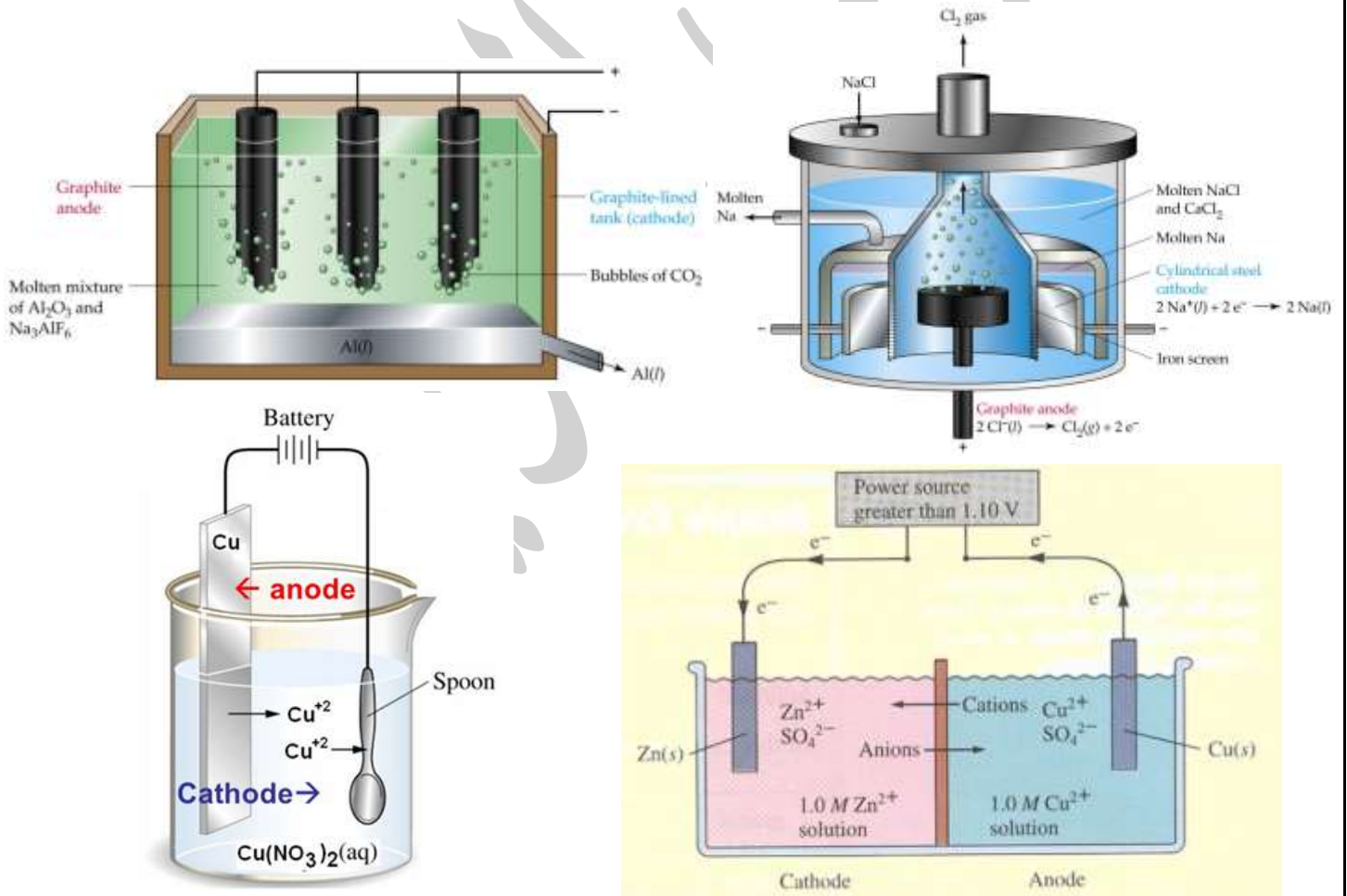


## محاضرات مادة الكيمياء للصف الثاني عشر (الفصل الدراسي الأول)

المحاضرة : السادسة

### الخلايا الإلكتروليتية (التحليلية)

### التطبيقات العملية والتقانية على الخلايا الكهروكيميائية



اعداد / أ. أيوب العويسي



98555079 , 91753932



## الخلايا الإلكتروليتية

\* **الخلايا الإلكتروليتية** هي خلايا كهروكيميائية يحدث فيها تفاعلات تأكسد واختزال غير تلقائية حيث يتم فيها تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة كيميائية.

\* **التحليل الكهربائي** هي عملية يتم فيها إمرار التيار الكهربائي في مصاهير أو محاليل المواد الإلكتروليتية لإحداث تفاعلات كيميائية على الأقطاب.

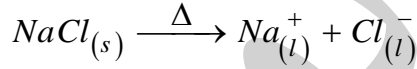


### \* مكونات الخلية الإلكتروليتية:

(١) مادة موصلة (إلكتروليتية) : وهي إما أن تكون :

أ - مصهور  $\Rightarrow$  ويتم الحصول عليه من خلال صهر المادة بالحرارة .

مثال / مصهور كلوريد الصوديوم ( $NaCl$ ) :

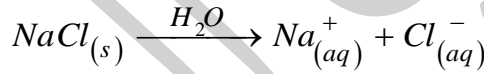


$\therefore$  مكونات مصهور كلوريد الصوديوم هي :

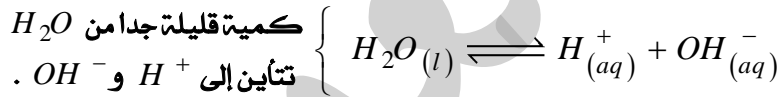


ب - محلول  $\Rightarrow$  ويتم الحصول عليه من خلال إذابة المادة في الماء .

مثال / محلول كلوريد الصوديوم ( $NaCl$ ) :



وحيث أن الماء يتأين بشكل ضعيف جدا كالآتي :



لذلك يكون تركيز كل من ( $H^{+}$ ) و ( $OH^{-}$ ) ضئيل جدا ويساوي ( $10^{-7} M$ ) .

$\therefore$  مكونات محلول كلوريد الصوديوم هي :



(٢) **أقطاب** : وهي إما أن تكون :

أ - **خاملة** : مثل البلاتين ( $Pt$ ) والجرافيت ( $C$ )  $\Rightarrow$  لا تشارك في المنافسة على الإلكترونات ( $e^{-}$ ) وتقتصر وظيفتها على **نقل الإلكترونات فقط** .

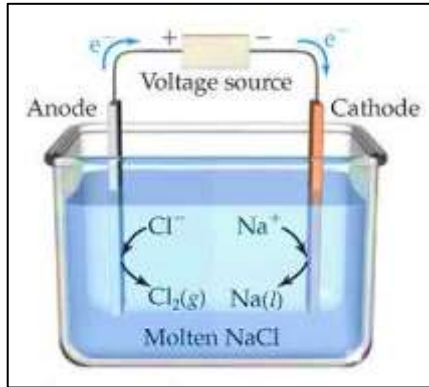
ب - **نشطة** : مثل الألومنيوم ( $Al$ ) ، الخارصين ( $Zn$ ) ، النحاس ( $Cu$ ) ، الفضة ( $Ag$ ) ..... الخ  $\Rightarrow$  تشارك في المنافسة على الإلكترونات ( $e^{-}$ ) **عند المصعد فقط** .

(٣) **مصدر للتيار الكهربائي (بطارية)** : حيث تعمل البطارية على دفع الإلكترونات ( $e^{-}$ ) في الدائرة الخارجية الذي بدوره يتسبب في حركة الأيونات المختلفة نحو الأقطاب المخالفة لها في الشحنة مما يؤدي إلى حدوث تفاعلات تأكسد - اختزال في الخلية ، ويستمر التوصيل الكهربائي والمحافظة على تعادل المحلول كهربائيا في جميع أجزائه ، والأمثلة التالية توضح عملية التحليل الكهربائي لكل من المصاهير والمحاليل الإلكتروليتية .

سؤال توضيحي (١) / ما نواتج عملية التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم (NaCl) بين أقطاب خاملة؟

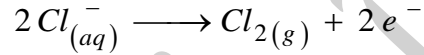


الحل

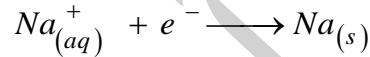


مكونات المصهور هي :  $Cl^-$  ,  $Na^+$

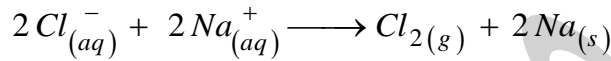
\* عند المصعد / تتأكسد أيونات الكلوريد ( $Cl^-$ ) :



\* عند المهبط / يتم اختزال أيونات الصوديوم ( $Na^+$ ) :



\* للحصول على معادلة التفاعل الكلي نضرب معادلة اختزال المهبط في (2) لتصبح كالآتي :



∴ نواتج عملية التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الصوديوم هي :

١- تصاعد غاز الكلور ( $Cl_2$ ) عند المصعد .

٢- ترسب ذرات الصوديوم ( $Na$ ) على المهبط .

ويمكن حساب قيمة جهد الخلية من العلاقة :

$$\Delta E^\circ = E_r^\circ (Cathode) - E_r^\circ (Anode)$$

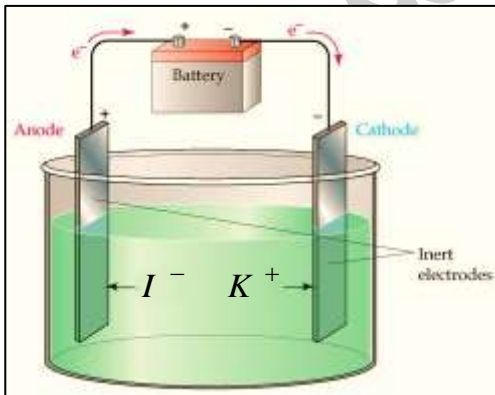
$$\Delta E^\circ = -2.71 - 1.36 = -4.07 \text{ v}$$

أي أن التفاعل غير تلقائي ، ولكي يحدث يلزم جهد خارجي (بطارية) أكبر من (4.07 v) .

سؤال توضيحي (٢) / ما نواتج عملية التحليل الكهربائي لمصهور يوديد البوتاسيوم (KI) بين أقطاب خاملة؟

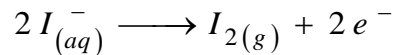


الحل

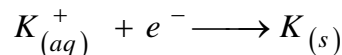


مكونات المصهور هي :  $I^-$  ,  $K^+$

\* عند المصعد / تتأكسد أيونات اليوديد ( $I^-$ ) :



\* عند المهبط / يتم اختزال أيونات البوتاسيوم ( $K^+$ ) :



\* التفاعل الكلي /  $2 I^- + 2 K^+ \longrightarrow I_2 + 2 K$

∴ نواتج عملية التحليل الكهربائي هي :

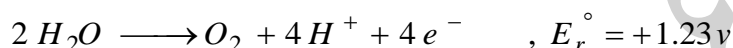
١- تكون اليود ( $I_2$ ) عند المصعد .

٢- ترسب ذرات البوتاسيوم ( $K$ ) على المهبط .

## ملاحظات مهمة حول عملية التحليل الكهربائي للمحاليل :

\* الماء يتأين بشكل ضعيف جدا لذلك فهو يوجد بشكل كبير في المحلول بصورة غير متأينة ، وعند إمرار التيار الكهربائي في الخلية تتجه جزيئات الماء إلى الطرفين ( القطب الموجب ، القطب السالب ) وتكون له معادلتين ؛ أحدهما عند المصعد والآخرى عند المهبط :

- معادلة أكسدة الماء ( $H_2O$ ) عند المصعد (+) :

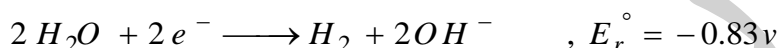


∴ نواتج أكسدة الماء : ١- تصاعد غاز الأكسجين ( $O_2$ ) .

٢- تكون وسط حمضي ( $H^+$ ) أي أن :  $pH < 7$

لذلك فإن ورقة تباع الشمس الزرقاء تصبح حمراء عند وضعها في المحلول المحيط بالمصعد .

- معادلة اختزال الماء ( $H_2O$ ) عند المهبط (-) :



∴ نواتج اختزال الماء : ١- تصاعد غاز الهيدروجين ( $H_2$ ) .

٢- تكون وسط قاعدي ( $OH^-$ ) أي أن :  $pH > 7$

لذلك فإن ورقة تباع الشمس الحمراء تصبح زرقاء عند وضعها في المحلول المحيط بالمهبط .

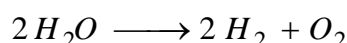
\* عندما يتنافس أيون الكلوريد ( $Cl^-$ ) والماء ( $H_2O$ ) على التأكسد عند المصعد ، فإن النتائج التجريبية تؤكد حدوث تأكسد لأيون الكلوريد ( $Cl^-$ ) بالرغم من أن جهد اختزال الماء أقل ، لماذا ؟

\* في جدول جهود الاختزال القياسية فإن الفلزات التي تقع أسفل معادلة اختزال الماء لا يمكن تحضيرها من محاليلها المائية ، وذلك لأن جهد اختزال الماء أكبر من جهد اختزال أيونات هذه الفلزات أو لأن الماء عامل مؤكسد أقوى من أيونات هذه الفلزات ، لذلك يجب استخدام مصاهير أملاح هذه المواد .

والأيونات هي :  $Li^+ , K^+ , Ba^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} , Cr^{2+}$

\* الأيونات السالبة التي تسلك كعوامل مؤكسدة فقط مثل :  $MnO_4^{2-} , CrO_4^{2-} , Cr_2O_7^{2-} , SO_4^{2-} , NO_3^-$  .... لا تتأكسد عند المصعد أثناء عملية التحليل الكهربائي ، وذلك لأن الذرات الأساسية فيها في أعلى حالات التأكسد .

\* إذا كانت المعادلة النهائية في الخلية الإلكتروليتية عبارة عن تحليل الماء :



فإن كمية الماء تقل نظرا لاستهلاكه وتحلله إلى غازي  $H_2$  و  $O_2$  ، وبالتالي يزيد تركيز المحلول الإلكتروليتي المستخدم ، حيث أن التركيز يتناسب عكسيا مع حجم المحلول  $\left( M \propto \frac{1}{V} \right)$  .

\* قيمة  $pH$  للمحلول تتأثر بتغير تركيز أيونات الهيدروجين ( $H^+$ ) أو الهيدروكسيد ( $OH^-$ ) حيث أن :

$$pH \propto [OH^-] , \quad pH \propto \frac{1}{[H^+]}$$



## جدول جهود الأختزال القياسية

نصف التفاعل		جهد الإختزال $E^0_r(V)$
$F_{2(g)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons 2F^-_{(aq)}$	+2.87
$MnO_4^-_{(aq)} + 8H^+_{(aq)} + 5e^-$	$\rightleftharpoons Mn^{2+}_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$	+1.51
$ClO_4^-_{(aq)} + 8H^+_{(aq)} + 8e^-$	$\rightleftharpoons Cl^-_{(aq)} + 4H_2O_{(l)}$	+1.39
$Cl_{2(g)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons 2Cl^-_{(aq)}$	+1.36
$Cr_2O_7^{2-}_{(aq)} + 14H^+_{(aq)} + 6e^-$	$\rightleftharpoons 2Cr^{3+}_{(aq)} + 7H_2O_{(l)}$	+1.23
$O_{2(g)} + 4H^+_{(aq)} + 4e^-$	$\rightleftharpoons 2H_2O_{(l)}$	+1.23
$2IO_3^-_{(aq)} + 12H^+_{(aq)} + 10e^-$	$\rightleftharpoons I_{2(s)} + 6H_2O_{(l)}$	+1.20
$Br_{2(l)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons 2Br^-_{(aq)}$	+1.07
$Hg^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Hg_{(s)}$	+0.85
$ClO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Cl^-_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$	+0.84
$Ag^+_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons Ag_{(s)}$	+0.80
$NO_3^-_{(aq)} + 2H^+_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons NO_{2(g)} + H_2O_{(l)}$	+0.80
$Fe^{3+}_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons Fe^{2+}_{(aq)}$	+0.77
$O_{2(g)} + 2H^+_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons H_2O_{2(l)}$	+0.70
$I_{2(s)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons 2I^-_{(aq)}$	+0.54
$Cu^+_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons Cu_{(s)}$	+0.52
$O_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} + 4e^-$	$\rightleftharpoons 4OH^-_{(aq)}$	+0.40
$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Cu_{(s)}$	+0.34
$SO_4^{2-}_{(aq)} + 4H^+_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons H_2SO_{3(aq)} + H_2O_{(l)}$	+0.17
$Sn^{4+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Sn^{2+}_{(aq)}$	+0.15
$Cu^{2+}_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons Cu^+_{(aq)}$	+0.15
$2H^+_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons H_{2(g)}$	0.00
$Pb^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Pb_{(s)}$	-0.13
$Sn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Sn_{(s)}$	-0.14
$Ni^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Ni_{(s)}$	-0.26
$Co^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Co_{(s)}$	-0.28
$PbSO_{4(s)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Pb_{(s)} + SO_4^{2-}_{(aq)}$	-0.36
$Cd^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Cd_{(s)}$	-0.40
$Cr^{3+}_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons Cr^{2+}_{(aq)}$	-0.41
$Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Fe_{(s)}$	-0.45
$Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Zn_{(s)}$	-0.76
$2H_2O_{(l)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons H_{2(g)} + 2OH^-_{(aq)}$	-0.83
$Cr^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Cr_{(s)}$	-0.91
$SO_4^{2-}_{(aq)} + 2H_2O_{(l)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons SO_3^{2-}_{(aq)} + 2OH^-_{(aq)}$	-0.93
$Al^{3+}_{(aq)} + 3e^-$	$\rightleftharpoons Al_{(s)}$	-1.66
$Mg^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Mg_{(s)}$	-2.37
$Na^+_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons Na_{(s)}$	-2.71
$Ca^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Ca_{(s)}$	-2.87
$Ba^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Ba_{(s)}$	-2.91
$K^+_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons K_{(s)}$	-2.93
$Li^+_{(aq)} + e^-$	$\rightleftharpoons Li_{(s)}$	-3.04

١- جميع قيم  $E^0_r$  مقاسة بالنسبة إلى قطب الهيدروجين القياسي ، وجميع أنصاف الخلايا توجد في الظروف القياسية وبمحاليل تركيزها 1.0 M.

٢- جميع القيم في الجدول مأخوذة من CRC 71st Edition

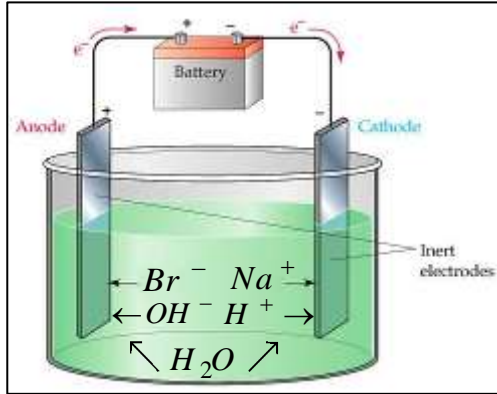
إتجاه زيادة قوة المموامل المؤكسدة

إتجاه زيادة قوة المموامل المختزلة

## سؤال توضيحي (٣) / ما نواتج عملية التحليل الكهربائي لمحلول بروميد الصوديوم (NaBr) بين أقطاب خاملة؟



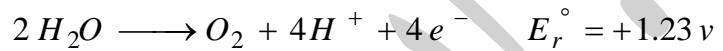
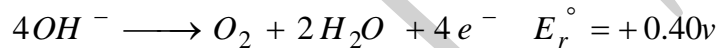
### الحل



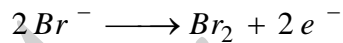
- مكونات محلول بروميد الصوديوم (NaBr) هي :



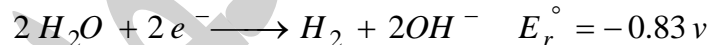
- عند المصعد (+) : تتجه إليه الأيونات  $(OH^-, Br^-)$  والماء  $(H_2O)$  ويحدث بينها تنافس على التأكسد كالآتي :



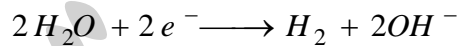
تتأكسد المادة الأقل في جهد الاختزال ، وحيث أن أيونات الهيدروكسيد  $(OH^-)$  هي الأقل جهدا إلا أنها تستبعد لأن مصدرها الماء (تركيزها ضئيل جدا  $10^{-7} M$ ) ، وبالتالي تتأكسد أيونات البروميد  $(Br^-)$  :



- عند المهبط (-) : تتجه إليه الأيونات  $(H^+, Na^+)$  والماء  $(H_2O)$  ويحدث بينها تنافس على الاختزال كالآتي :



تتأكسد المادة الأكبر في جهد الاختزال ، وحيث أن أيونات الهيدروجين  $(H^+)$  هي الأكبر جهدا إلا أنها تستبعد لأن مصدرها الماء (تركيزها ضئيل جدا  $10^{-7} M$ ) ، وبالتالي تتأكسد جزيئات الماء  $(H_2O)$  :



- معادلة التفاعل الكلي :  $2 Br^- + 2 H_2O \longrightarrow Br_2 + H_2 + 2 OH^-$

∴ نواتج التحليل الكهربائي هي :

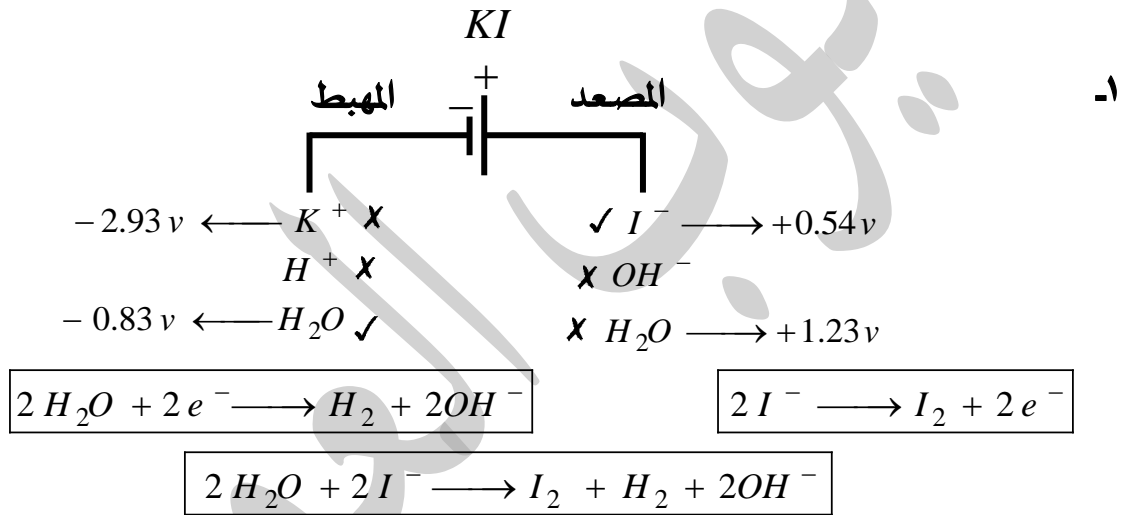
- ١- تكون  $Br_2$  عند المصعد .
- ٢- تصاعد غاز الهيدروجين  $H_2$  عند المهبط .
- ٣- تكون وسط قاعدي  $(OH^-)$  في المحلول المحيط بالمهبط ، لذلك عند وضع ورقة تباع الشمس الحمراء تصبح زرقاء .



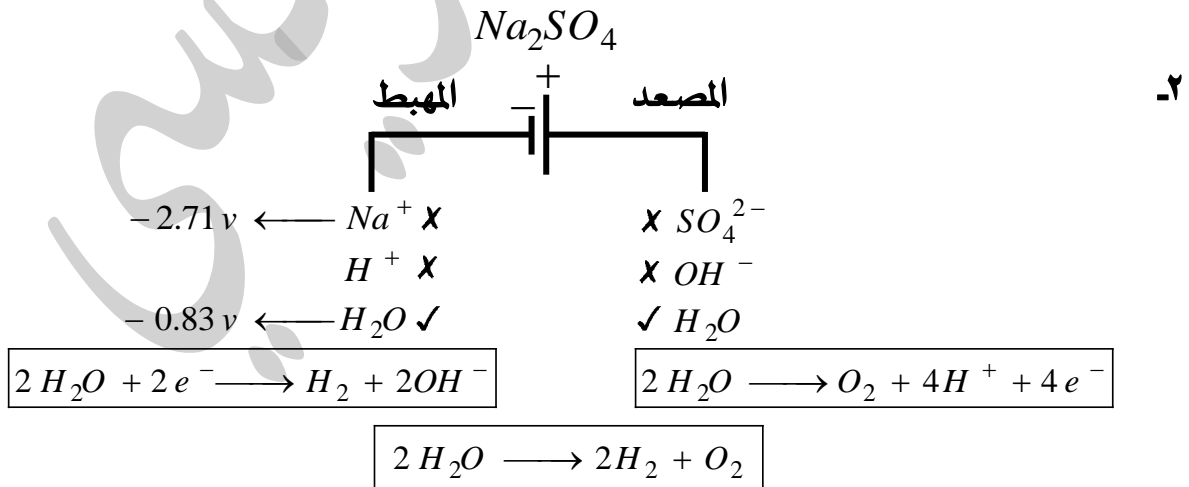
سؤال توضيحي (٤) / ما نواتج عملية التحليل الكهربائي للمحاليل التالية :

- ١- محلول يوديد البوتاسيوم (KI) بين أقطاب خاملة.
- ٢- محلول كبريتات الصوديوم ( $Na_2SO_4$ ) بين أقطاب خاملة.
- ٣- محلول كبريتات النحاس ( $CuSO_4$ ) بين أقطاب خاملة.
- ٤- محلول كبريتات النحاس ( $CuSO_4$ ) بين أقطاب نحاس (Cu).
- ٥- محلول نترات الفضة ( $AgNO_3$ ) بين أقطاب خاملة.
- ٦- محلول نترات الفضة ( $AgNO_3$ ) بين أقطاب فضة (Ag).
- ٧- محلول هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) بين أقطاب حديد (Fe).
- ٨- محلول حمض الكبريتيك ( $H_2SO_4$ ) بين أقطاب خاملة.
- ٩- محلول حمض الكبريتيك ( $H_2SO_4$ ) بين أقطاب نحاس (Cu).

### الحل

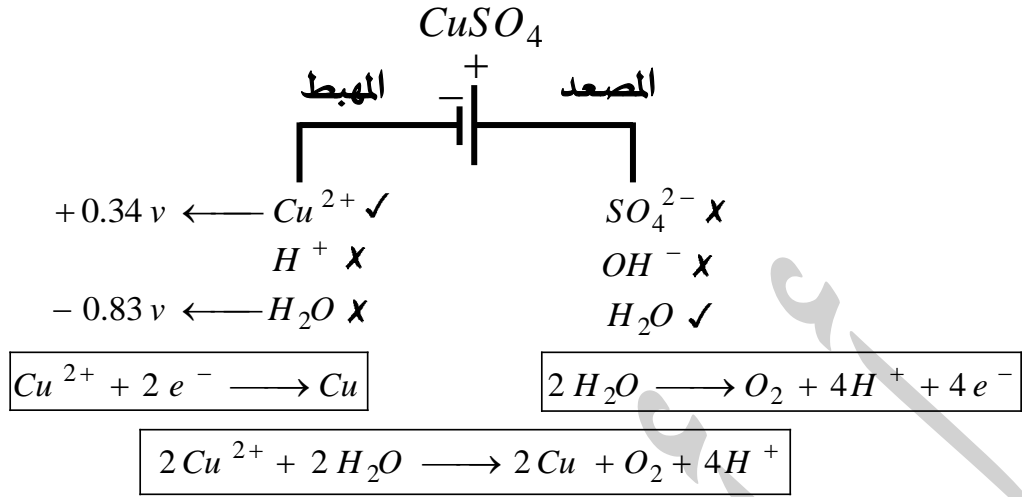


يتكون وسط قاعدي ( $OH^-$ ) في المحلول المحيط بالمهبط  $\Leftarrow$  ورقة تباع الشمس الحمراء تصبح زرقاء.



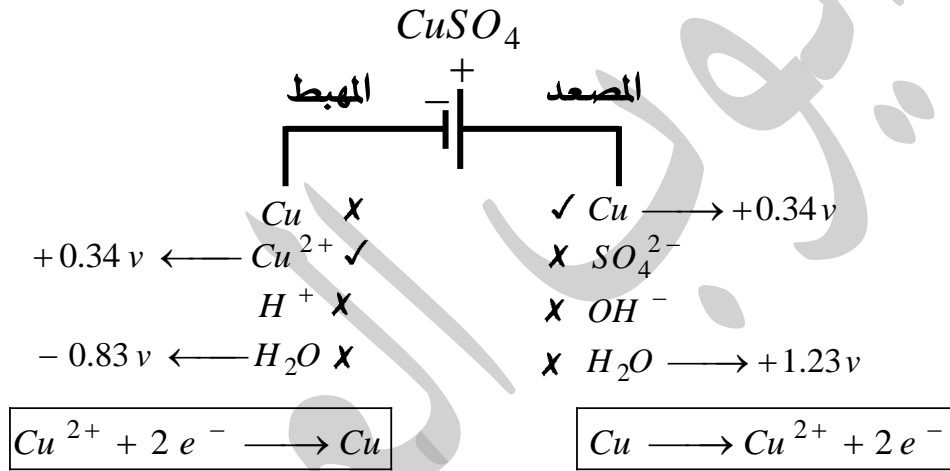
يزيد تركيز المحلول ( ملح  $Na_2SO_4$  ) بمرور الوقت وذلك لنقص كمية الماء بالتحليل ، حيث يتحلل إلى غازي  $H_2$  و  $O_2$  .

٣-



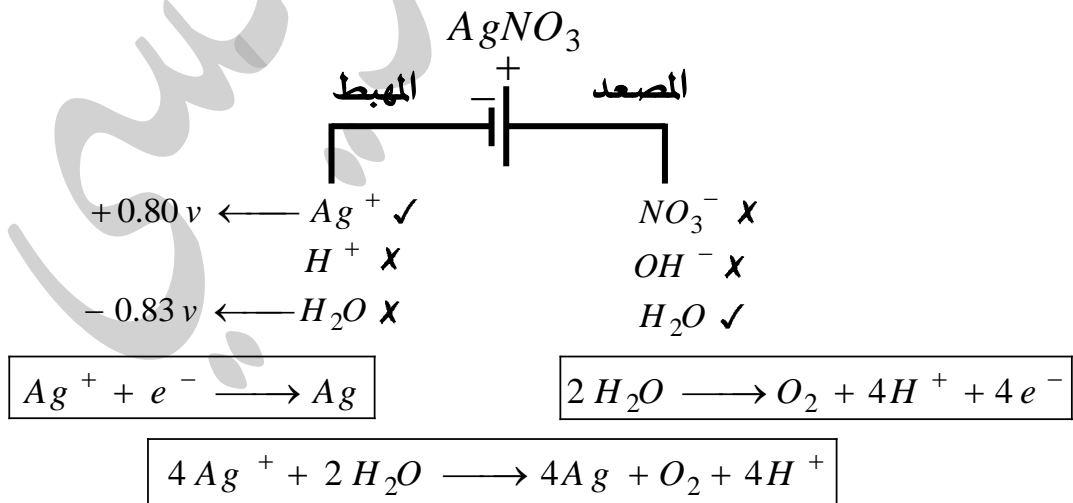
تقل شدة اللون الأزرق للمحلول بإنهاء عملية التحليل الكهربائي ، وذلك لانخفاض تركيز أيونات النحاس ( $Cu^{2+}$ ) ، ويتكون وسط حمضي ( $H^+$ ) في المحلول المحيط بالمصعد .

٤-



لا يتغير تركيز المحلول ( تبقى شدة اللون الأزرق ثابتة ) بإنهاء عملية التحليل الكهربائي ، وذلك لأن أيونات النحاس ( $Cu^{2+}$ ) الناتجة من أكسدة المصعد يتم اختزالها عند المهبط .

٥-

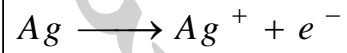
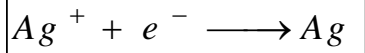
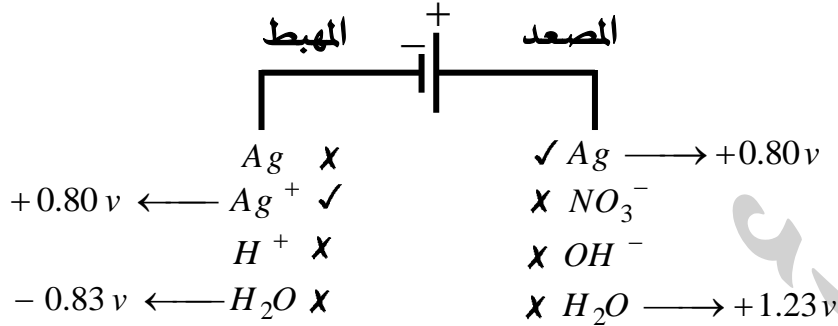


يقل تركيز المحلول بإنهاء عملية التحليل الكهربائي ، وذلك لانخفاض تركيز أيونات الفضة ( $Ag^+$ ) ، ويتكون وسط حمضي ( $H^+$ ) في المحلول المحيط بالمصعد .





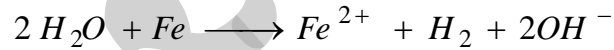
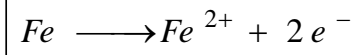
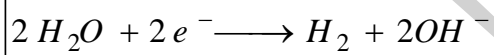
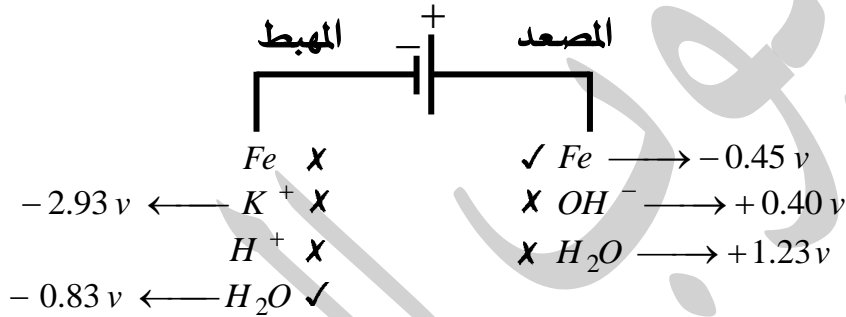
٦-



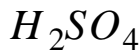
لا يتغير تركيز المحلول بإنهاء عملية التحليل الكهربائي، وذلك لأن أيونات الفضة ( $Ag^+$ ) الناتجة من أكسدة المصعد يتم اختزالها عند المهبط.



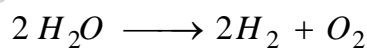
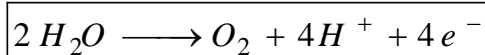
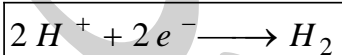
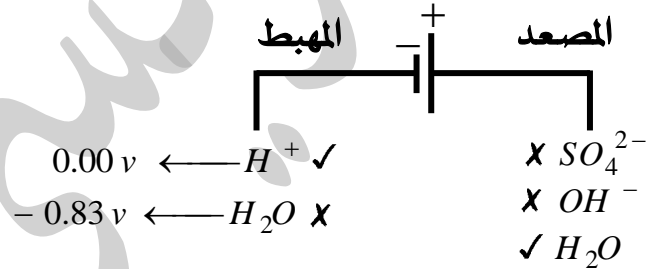
٨-



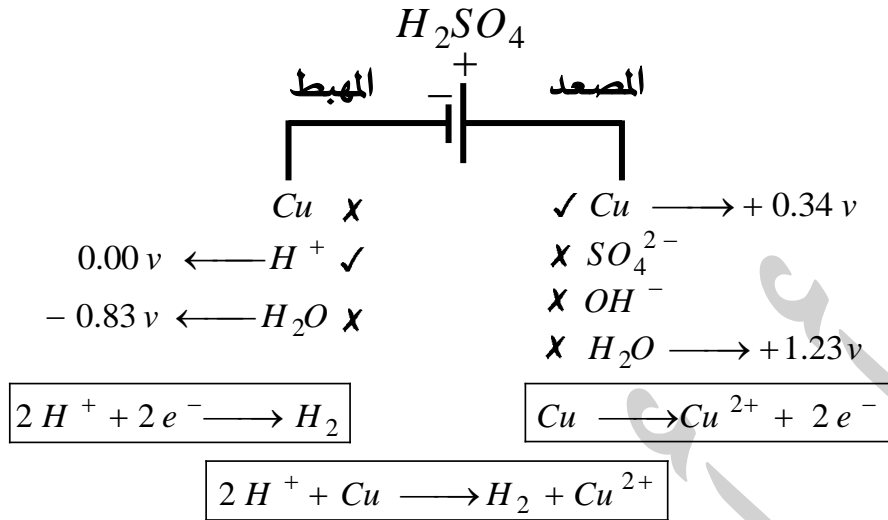
يتكون وسط قاعدي ( $OH^-$ ) في المحلول المحيط بالمهبط  $\leftarrow$  ورقة تباع الشمس الحمراء تصبح زرقاء.



٩-



تقل كمية الماء بالتحليل، حيث يتحلل إلى غازي  $H_2$  و  $O_2$ ، وبالتالي يزيد تركيز المحلول أي يزيد تركيز أيونات الهيدروجين ( $H^+$ ) فتقل قيمة  $pH$  للمحلول.

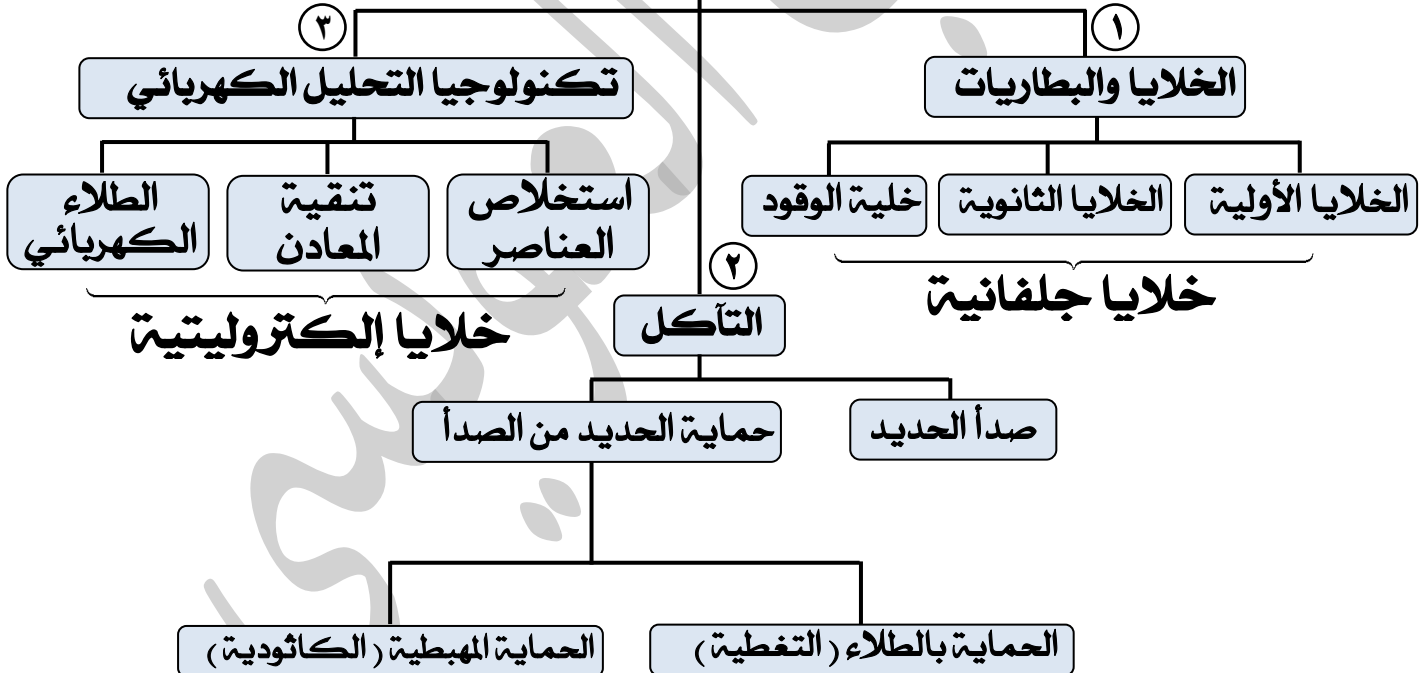


يقبل تركيز أيونات الهيدروجين (H<sup>+</sup>) بمرور الوقت ، وذلك لأنها تختزل إلى غاز هيدروجين (H<sub>2</sub>) وبالتالي تزيد قيمة pH .



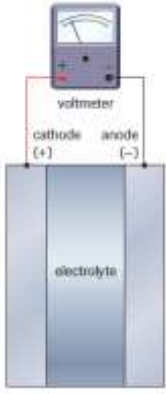
## التطبيقات العملية والتقانية على الخلايا الكهروكيميائية

تنقسم إلى



وفيما يلي شرح لكل نوع من هذه التطبيقات .

## ١- الخلايا والبطاريات



- تتكون من قطبين معدنيين أو أحدهما معدن والآخر جرافيت ، وتكون حركة الإلكترونات من المصعد (-) إلى المهبط (+) .
- المادة الإلكتروليتية عبارة عن محلول مائي أو عجينة إلكتروليتية رطبة .



وتنقسم إلى ثلاثة أنواع وهي :

### الخلايا الأولية

- سُميت خلايا أولية لأنها غير قابلة للشحن .

- أمثله عليها : البطارية الجافة ( بطارية كلوريد الخارصين ) .

- تنتج حوالي 1.5 v ، ويمكن دمج 6 بطاريات للحصول على 9.0 v .

- تستخدم في الأجهزة الكهربائية مثل الراديو .

- المصعد عبارة عن أقطاب خارصين (Zn) حيث تمثل الجدار الداخلي للبطارية .

- المهبط عبارة أقطاب كربون (C) .

المادة الإلكتروليتية عبارة عن عجينة رطبة مكونة من  $MnO_2$  و  $NH_4Cl$  .

\* عند المصعد (-) :  $Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e^-$

\* عند المهبط (+) :  $2MnO_2 + 2NH_4^+ + 2e^- \longrightarrow Mn_2O_3 + 2NH_3 + H_2O$

### الخلايا الثانوية

- سُميت خلايا ثانوية لأنها قابلة للشحن .

- أمثله عليها :

بطارية السيارة ( المركم الرصاصي )

بطارية النيكاد ( نيكال - كادميوم )  $Ni - Cd$

\* بطارية السيارة :

- المصعد عبارة عن رقائق سالبة مملوءة برصاص اسفنجي (Pb) .

- المهبط عبارة عن رقائق موجبة مملوءة بأكسيد الرصاص الرباعي ( $PbO_2$ ) .

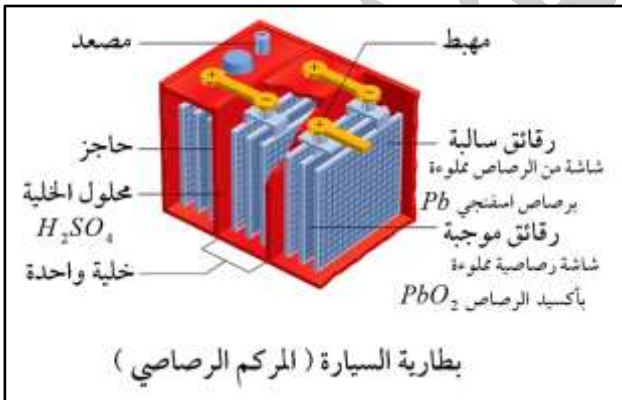
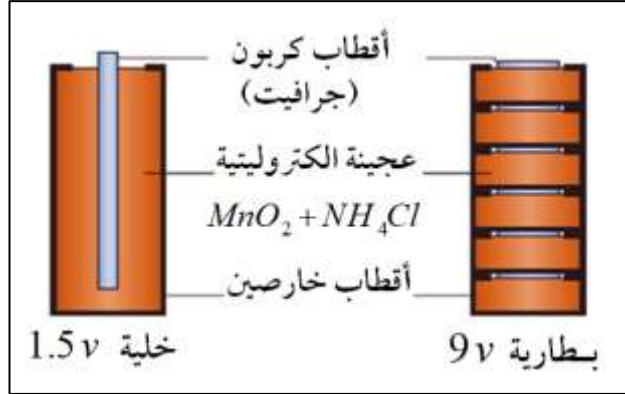
- المادة الإلكتروليتية المستخدمة عبارة عن محلول مائي لحمض الكبريتيك ( $H_2SO_4$ ) .

\* عند المصعد (-) :  $Pb + SO_4^{2-} \longrightarrow PbSO_4 + 2e^-$

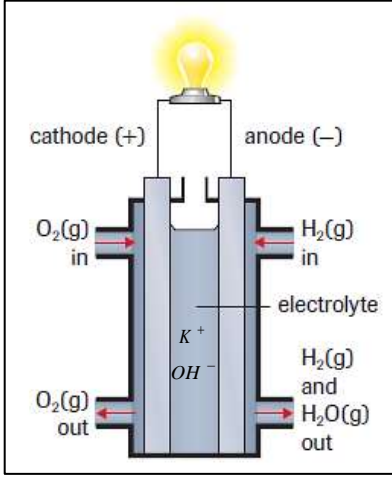
\* عند المهبط (+) :  $PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \longrightarrow PbSO_4 + 2H_2O$

\* التفاعل الكلي (التفريغ) :  $Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \longrightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$

\* تفاعل إعادة الشحن :  $2PbSO_4 + 2H_2O \longrightarrow Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4$



## خلية الوقود



- تستخدم هذه الخلية من قبل وكالة الفضاء الدولية (NASA) في الرحلات الفضائية .

- الوقود المستخدم فيها هو غازي الهيدروجين ( $H_2$ ) والأكسجين ( $O_2$ ) .

- الأقطاب مصنوعة من النيكل المسامي .

- المادة الإلكتروليتية المستخدمة عبارة عن محلول مائي لهيدروكسيد البوتاسيوم ( $KOH$ ) .

\* عند المصعد (-) :  $2H_2 + 4OH^- \longrightarrow 4H_2O + 4e^-$

\* عند المهبط (+) :  $O_2 + 2H_2O + 4e^- \longrightarrow 4OH^-$

\* التفاعل الكلي :  $2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$

\* عيوبها :

\* مميزاتها :

- تنتج ماء صالح للشرب .
- كبيرة الحجم .
- غير ملوثة للبيئة .
- مكلفة ( غير اقتصادية ) .
- ذات عمر قصير نسبيا لأن محلولها يسبب تآكل الأقطاب .
- تعمل بكفاءة تصل إلى ( 70 % ) .



## ٢- التآكل

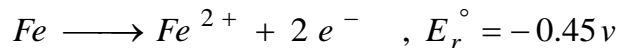
\* التآكل هي عملية كهروكيميائية يتفاعل فيها المعدن أو الفلز مع المواد الموجودة في البيئة مثل الأكسجين ( $O_2$ ) والرطوبة ( $H_2O$ ) مكونا طبقة هشة تؤدي إلى تلف الفلز .

\* بعض الفلزات عند تعرضها للأكسجين والرطوبة تكون طبقة صلبة من أكسيد أو هيدروكسيد الفلز ، لذلك تسمى هذه الفلزات " فلزات ذاتية الحماية " أذكر أمثلة عليها ؟

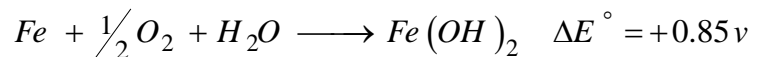
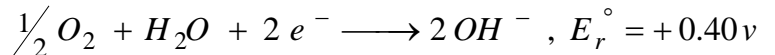
\* أشهر عمليات التآكل هي صدأ الحديد .

## صدأ الحديد

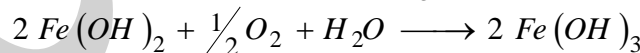
- عند المصعد : تتأكسد ذرات الحديد الموجودة على السطح الرطب :



- عند المهبط : تحدث عملية اختزال للأكسجين الذائب في الماء :



- وبما أن التفاعل تلقائي ، يتأكسد  $Fe(OH)_2$  مكونا  $Fe(OH)_3$  الصلب ذي اللون البني المصفر عند توفر المواد اللازمة :



- عند نزع بعض من الماء يتكون صدأ الحديد ذي اللون البني المحمر  $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$  (أكسيد الحديد III المائي) .

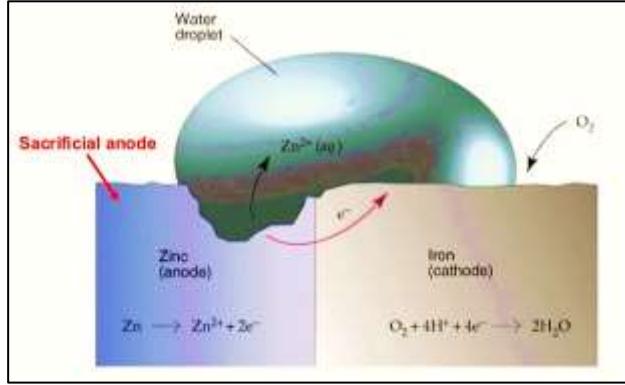
يمكن حماية الحديد من الصدأ بطريقتين :

## حماية الحديد من الصدأ

أ- الحماية بالطلاء (التغطية) :

- طلاء الحديد بطبقة واقية من الدهان تمنع تلامس الحديد مع الهواء والرطوبة .



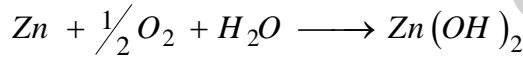
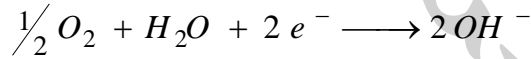


- غمس الحديد في مصهور فلز أكثر نشاطا من الحديد (عامل مختزل أقوى من الحديد) مثل الخارصين وتسمى هذه الطريقة بجلفنة الحديد (galvanizing of Iron)، فيتأكسد الخارصين تفضيلا عند تعرضه للهواء والرطوبة، والرسم المقابل يوضح هذه الطريقة:

- عند المصعد: تتأكسد ذرات الخارصين:



- عند المهبط: تحدث عملية اختزال للأوكسجين الذائب في الماء:



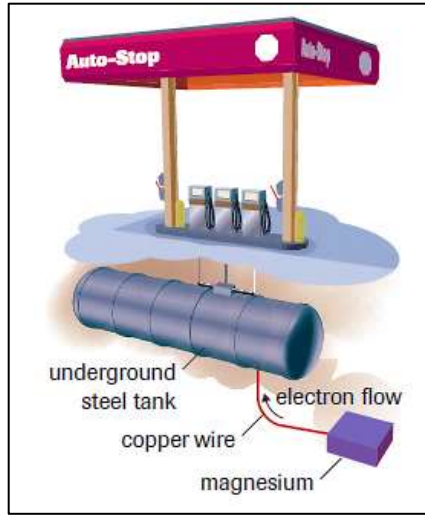
- التفاعل الكلي:

يعمل  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  كمادة مانعة من استمرار التفاعل حيث يغطي الطبقة المعرضة للتأكسد، وبذلك يحمي الحديد والخارصين معا.

ب- الحماية المهبطية (الكاثودية):

- تستخدم هذه الطريقة في حماية الخزانات وأنايب نقل البترول المدفونة تحت سطح الأرض أو لحماية السفن والقوارب التي ينغمر جزء منها تحت سطح الماء.

- يتم في هذه الطريقة توصيل أجسام المواد المراد حمايتها بكتل من الخارصين (Zn) أو الماغنيسيوم (Mg)، حيث يعمل الحديد كمهبط لخلية جلفانية يكون الماغنيسيوم أو الخارصين مصعدا فيها.



ج- الحماية بالكهرباء:

- يتم توصيل الحديد بالطرف السالب لبطارية أو مصدر للتيار الكهربائي، والطرف الموجب من المصدر يتم وصله بقطب خامل مثل الكربون، فيسري التيار الكهربائي من الكربون إلى الحديد مجبرا الحديد أن يكون مهبطا في خلية تحتوي على ماء التربة كمادة إلكتروليتية، وبالتالي يمنع الحديد من الصدأ.



د- الحماية من خلال تكوين السبائك:

حيث يتم خلط الحديد مع فلزات أخرى وينسب معينة لتكوين سبائك الفولاذ المقاوم للصدأ (Stainless - steel).

### ٣. تكنولوجيا التحليل الكهربائي

#### أ. استخلاص العناصر (استخلاص الألومنيوم) :

س / لماذا لا يمكن استخلاص الألومنيوم (Al) من محاليله المائية ؟

ج / لأن جهد اختزال الماء ( $H_2O$ ) أكبر من جهد اختزال أيونات الألومنيوم ( $Al^{3+}$ ) ، وبالتالي سوف يختزل الماء عند المهبط بدلا من أيونات الألومنيوم .

أو لأن الماء ( $H_2O$ ) عامل مؤكسد أقوى من أيونات الألومنيوم ( $Al^{3+}$ ) .

- يوجد الألومنيوم (Al) بنسبة كبيرة في خام البوكسايت ( $Al_2O_3$ ) وتبلغ درجة انصهاره حوالي ( $2072^\circ C$ ) .

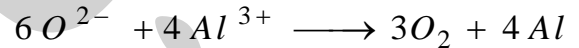
- يتم إذابة خام البوكسايت ( $Al_2O_3$ ) في مصهور خام الكريولايت ( $Na_3AlF_6$ ) عند استخلاص الألومنيوم ، وذلك لخفض درجة الانصهار إلى حوالي ( $1000^\circ C$ ) .

- الخلية المستخدمة في استخلاص الألومنيوم تسمى " خلية هول - هيرولت " الموضحة في الرسم التالي .

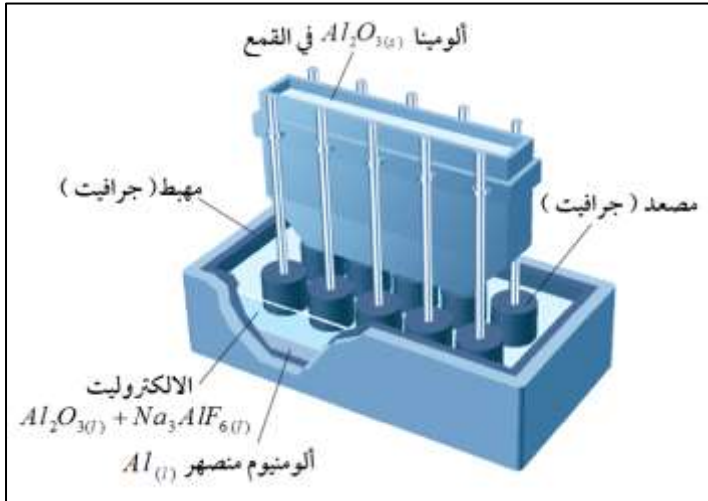
\* عند المصعد (+) :  $2 O^{2-} \longrightarrow O_2 + 4 e^-$

\* عند المهبط (-) :  $Al^{3+} + 3 e^- \longrightarrow Al$

\* التفاعل الكلي :



- يجب استبدال قضبان الجرافيت في الخلية من وقت إلى آخر ، وذلك لأنها تتآكل حيث تتفاعل مع غاز الأكسجين ( $O_2$ ) الناتج مكونة غاز ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ) :  $C + O_2 \longrightarrow CO_2$



#### ب. تنقية المعادن :

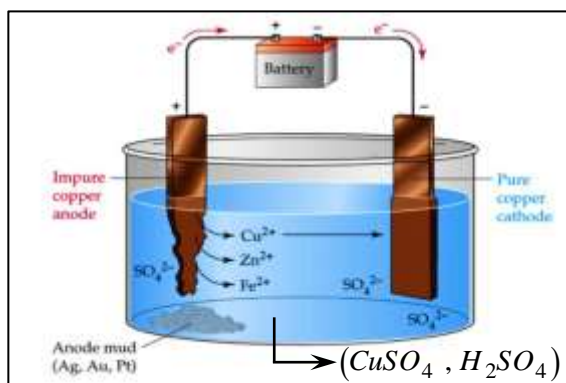
- معظم العناصر المستخلصة من خاماتها تكون بصورة غير نقية ، حيث تحتوي على شوائب من عناصر أخرى ،

- الشوائب هي ذرات فلزات مختلفة مختلطة بنسب ضئيلة مع الفلز المراد تنقيته .

- تعتبر طريقة التنقية الكهربائية من أكثر الطرق المستخدمة في تنقية المعادن ، ومن الأمثلة الجيدة على هذه الطريقة " تنقية النحاس " .

- النحاس المستخلص من عمليات الصهر الأولية يحتوي على شوائب مثل : الخارصين ، الحديد ، الفضة ، الذهب ، البلاتين ، وبما أن فلز النحاس يستخدم بشكل كبير في أسلاك التوصيل الكهربائية فإنه من الضروري التخلص من هذه الشوائب لتحسين قدرة النحاس على التوصيل .

## \* آلية تنقية النحاس :



- يتم إمرار تيار كهربائي في خلية تحليل كهربائي تحتوي على محلول كبريتات النحاس ( $CuSO_4$ ) وحمض الكبريتيك ( $H_2SO_4$ ) ، حيث يكون النحاس غير النقي مصعدا في هذه الخلية ( يوصل بالطرف الموجب للبطارية ) و صفيحة النحاس النقي تكون مهبطا في الخلية ( توصل بالطرف السالب للبطارية ) كما هو موضح في الرسم المقابل .

س / اذكر وظيفتين لحمض الكبريتيك في الخلية ؟

\* عند المصعد (+) / تتأكسد ذرات النحاس وذرات الفلزات النشطة مثل الخارصين والحديد :



ولا تتأكسد ذرات الفلزات غير النشطة ( $Pt, Au, Ag$ ) لأن جهود اختزالها كبيرة .

\* عند المهبط (-) / يتم اختزال أيونات النحاس مكونة نحاس نقي يترسب على المهبط حيث تصل نسبة النقاوة

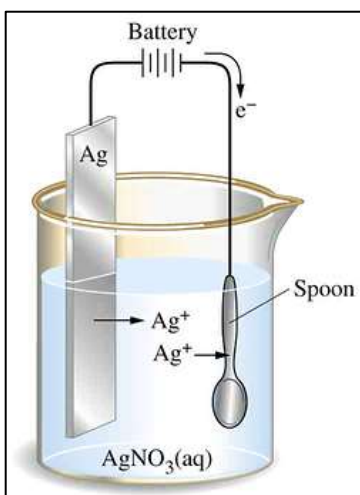


ولا يتم اختزال أيونات الشوائب ( $Fe^{2+}, Zn^{2+}$ ) لأن جهود اختزالها قليلة .

## ج- الطلاء الكهربائي :

- تستخدم طريقة الطلاء الكهربائي للتوصل إلى حل وسط يجمع بين رخص الثمن والصفات الجيدة من حيث المتانة والمظهر ومقاومة التآكل .

## \* آلية طلاء ملعقة من النحاس بطبقة من الفضة :



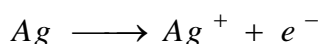
- يتم استخدام تيار كهربائي مستمر (بطارية) .

- يتم توصيل ملعقة النحاس بالطرف السالب للبطارية بحيث تكون مهبطا في الخلية .

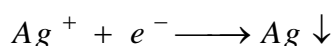
- يتم توصيل قطب الفضة النقي بالطرف الموجب للبطارية بحيث يكون مصعدا في الخلية .

- يستخدم محلول إلكتروليتي يحتوي على أيونات المادة المراد الطلاء بها ، لذلك نستخدم محلول نترات الفضة ( $AgNO_3$ ) ، والرسم المقابل يوضح عملية الطلاء .

\* عند المصعد (+) / تتأكسد ذرات الفضة  $Ag$  إلى أيونات فضة  $Ag^{+}$  :



\* عند المهبط (-) / يتم اختزال أيونات الفضة  $Ag^{+}$  إلى ذرات فضة  $Ag$  لأمعة تتراكم على الملعقة :



نلاحظ أنه تم نقل الفضة من المصعد (قطب الفضة) إلى المهبط (الملعقة) أي أن أيونات الفضة الناتجة من أكسدة المصعد يتم اختزالها عند المهبط ، وبالتالي فإن تركيز المحلول الإلكتروني ( $AgNO_3$ ) لا يتغير بانتهاء عملية الطلاء ، والجدير بالذكر أن هناك طرق أخرى للطلاء ، اذكرها ؟

س / ما العوامل التي تحدد سمك طبقة الطلاء ؟

## حسابات التحليل الكهربائي

\* كمية الكهرباء المارة في أي خلية تحدد كميات المواد الناتجة أو المستهلكة .

\* يمكن حساب كمية الكهرباء (Q) المارة في دائرة معينة بمعلومية كل من شدة التيار (I) والزمن (t) كالآتي :

$$Q_{(C)} = I_{(A)} \cdot t_{(s)}$$

وحيث أن المول الواحد من الإلكترونات (1 mole of  $e^-$ ) يحتوي على ( $6.02 \times 10^{23}$ ) إلكترون

وشحنة الإلكترون الواحد ( $charge\ of\ e^-$ ) تساوي ( $1.6 \times 10^{-19}$ ) كولوم

فإن كمية الكهرباء التي يمتلكها مول واحد من الإلكترونات يمكن حسابها كالآتي :

$$Q_{(1\ mole\ of\ e^-)} = 6.02 \times 10^{23} \times 1.6 \times 10^{-19} = 96500\ C$$

$$\therefore 1f = 96500\ C/mol$$

$$\therefore 1\ mole\ of\ e^- = 1f = 96500\ C$$

$$1f \xrightleftharpoons[96500\div]{\times 96500} 96500\ C$$

ويمكن حساب كمية الكهرباء (Q) اللازمة في نصف التفاعل كالآتي :

$$Q = n \cdot f$$

حيث :

$n \Leftarrow$  عدد مولات الإلكترونات أو شحنة الأيون ( خاصة للعناصر الفلزية ) ويمكن معرفتها من خلال نصف التفاعل الموزون .

$f \Leftarrow$  ثابت فارادي ويساوي (96500 C) .

### قانون فارادي

تتناسب كتل المواد الناتجة أو المستهلكة عند أي قطب تناسباً طردياً مع كمية الكهرباء المارة في الخلية بشرط ثبات شدة التيار .

$$Q \propto m$$

$$Q \propto n \cdot f$$

$$\therefore Q \propto m \cdot n \cdot f$$

$$Q \cdot Mr = m \cdot n \cdot f$$

$$m = \frac{Q \cdot Mr}{n \cdot f}, \quad Q = \frac{m \cdot n \cdot f}{Mr}$$

وحيث أن :  $n = \frac{m}{Mr}$  فيمكن التوصل للعلاقة التالية :

$$n = \frac{m}{Mr} = \frac{Q \cdot Mr}{n \cdot f \cdot Mr} \Rightarrow n = \frac{Q}{n \cdot f}$$

ويمكن حساب حجم الغاز الناتج من العلاقة التالية :

$$V_{gas} = n_{gas} \times 22.4 \quad \text{حجم الغاز عند شروط STP}$$



سؤال توضيحي (١) / إذا كانت كمية الكهرباء المارة في خلية إلكتروليزية (540 C) لمدة ساعة ونصف ، احسب شدة التيار المار في هذه الخلية ؟



الحل

$$Q = 540 C, t = 1.5 hr \Rightarrow 1.5 \times 60 \times 60 = 5400 s$$

$$Q = I \cdot t$$

$$\therefore I = \frac{Q}{t} = \frac{540}{5400} = 0.1 A$$

سؤال توضيحي (٢) / ما كمية الكهرباء بالكولوم اللازمة في الحالات التالية :



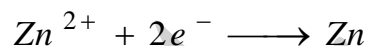
١- اختزال 1 mol من  $Zn^{2+}$  إلى Zn .

٢- اختزال  $\frac{1}{2}$  mol من  $Cr_2O_7^{2-}$  إلى  $Cr^{3+}$  في الوسط الحمضي .

٣- أكسدة 1 mol من  $H_2O$  إلى  $O_2$  .

الحل

١- نكتب معادلة اختزال أيونات الخارصين :  $Zn^{2+}$

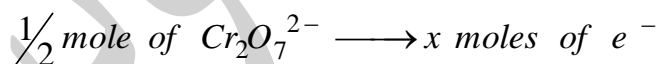
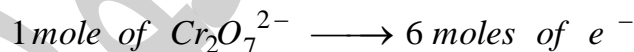
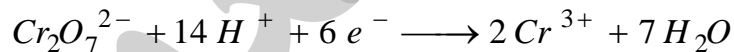


$$n = 2$$

$$Q = n \cdot f$$

$$Q = 2f = 2 \times 96500 = 193000 C$$

٢- نكتب معادلة اختزال أيونات الدايمكرومات  $Cr_2O_7^{2-}$  في الوسط الحمضي :

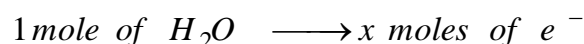
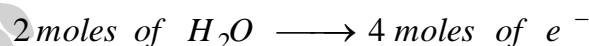
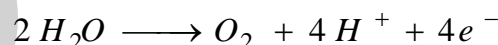


$$x = n = 3$$

$$Q = n \cdot f$$

$$Q = 3f = 3 \times 96500 = 289500 C$$

٣- نكتب معادلة أكسدة الماء  $H_2O$  :



$$x = n = 2$$

$$Q = n \cdot f$$

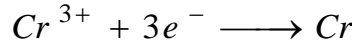
$$Q = 2f = 2 \times 96500 = 193000 C$$

سؤال توضيحي (٣) / ما كتلة الكروم (Cr) المترسبة على مهبط خلية إلكتروليزية تحتوي على محلول  $Cr(NO_3)_3$  نتيجة مرور تيار كهربائي شدته (3 A) لمدة (25) دقيقة؟



الحل

نكتب معادلة اختزال أيونات الكروم  $Cr^{3+}$ :



$$n = 3$$

$$Q = I \cdot t = 3 \times 25 \times 60 = 4500 C$$

$$Q \cdot Mr = m \cdot n \cdot f$$

$$m(Cr) = \frac{Q \cdot Mr}{n \cdot f} = \frac{4500 \times 52}{3 \times 96500} = 0.81 g$$

أو بطريقة أخرى:

لفصل 1 mol من Cr يلزم  $3f$  (289500 C)

لفصل 52 g من Cr يلزم  $3f$  (289500 C)

لفصل x g من Cr يلزم 4500 C

$$x = m(Cr) = \frac{Q \cdot Mr}{n \cdot f} = \frac{4500 \times 52}{289500} = 0.81 g$$

سؤال توضيحي (٤) / مررتيار كهربائي شدته (3 A) لمدة ساعتين في خلية إلكتروليزية تحتوي على محلول كبريتات النحاس الثنائي  $(CuSO_4) II$  بين أقطاب خاملة، والمطلوب:



١- كتابة أنصاف التفاعلات الحادثة عند كل من المصعد والمهبط؟

٢- حساب حجم غاز الأكسجين ( $O_2$ ) المتصاعد؟

٣- حساب حجم غاز الهيدروجين ( $H_2$ ) المتصاعد علما بأنه قد ترسب (1.5 g) من النحاس عند المهبط؟

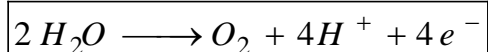
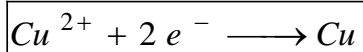
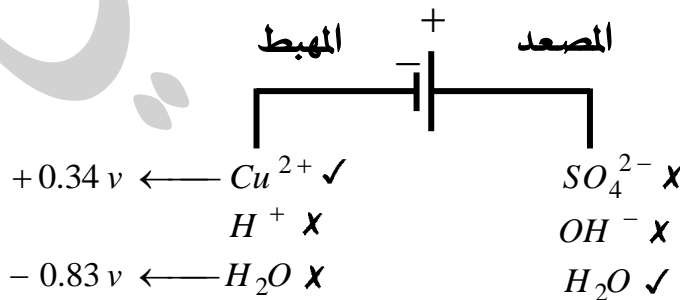
٤- حساب النسبة بين حجم غاز الأكسجين ( $O_2$ ) إلى حجم غاز الهيدروجين ( $H_2$ )؟

٥- حساب الزمن بالدقائق اللازم لبدء تصاعد غاز الهيدروجين ( $H_2$ )؟

٦- حساب الزمن بالدقائق اللازم لتصاعد غاز الهيدروجين ( $H_2$ )؟

الحل

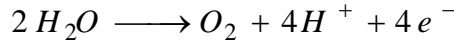
١-



٢- نحسب كمية الكهرباء الكلية ( $Q_T$ ) التي مررت في الخلية :

$$Q_T = I \cdot t = 3 \times 2.0 \times 3600 = 21600 \text{ C}$$

لحساب حجم غاز الأكسجين ( $O_2$ ) المتصاعد يلزم معرفة عدد مولاته :

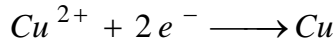


$$n = 4$$

$$n(O_2) = \frac{Q}{n \cdot f} = \frac{21600}{4 \times 96500} = 0.056 \text{ mol}$$

$$V(O_2) = n(O_2) \times 22.4 \Rightarrow 0.056 \times 22.4 = 1.25 \text{ L}$$

٣- يبدأ غاز الهيدروجين ( $H_2$ ) بالتصاعد عند مهبط الخلية بعد ترسيب كل النحاس ( $Cu$ ) على المهبط ، لذلك لابد من معرفة كمية الكهرباء التي استهلكت في ترسيب النحاس ( $Q_{Cu}$ ) :



$$n = 2$$

$$Q_{Cu} = \frac{1.5 \times 2 \times 96500}{63.5} = 4559 \text{ C}$$

وتكون كمية الكهرباء اللازمة لتصاعد غاز الهيدروجين هي المتبقي من كمية الكهرباء الكلية :

$$Q_{H_2} = Q_T - Q_{Cu}$$

$$Q_{H_2} = 21600 - 4559 = 17041 \text{ C}$$



$$\therefore n(H_2) = \frac{Q}{n \cdot f} = \frac{17041}{2 \times 96500} = 0.0883 \text{ mol}$$

$$V(H_2) = n(H_2) \times 22.4 \Rightarrow 0.0883 \times 22.4 = 1.97 \text{ L} = 2.0 \text{ L}$$

٤- حساب النسبة بين حجم غاز ( $O_2$ ) إلى حجم غاز ( $H_2$ ) :

$$H_2 : O_2$$

$$\frac{2.0 \text{ L}}{1.25 \text{ L}} : \frac{1.25 \text{ L}}{1.25 \text{ L}}$$

$$1.6 : 1$$

$$8 : 5$$

٥- يبدأ غاز ( $H_2$ ) بالتصاعد بعد ترسيب النحاس ( $Cu$ ) :

$$Q = I \cdot t$$

$$t = \frac{Q_{Cu}}{I} = \frac{4559}{3} = 1519.67 \text{ s} = 25.33 \text{ min}$$

٦- يلزم كمية الكهرباء المتبقية ( $Q_{H_2}$ ) لكي يتصاعد غاز ( $H_2$ ) :

$$Q = I \cdot t$$

$$t = \frac{Q_{H_2}}{I} = \frac{17041}{3} = 5680.33 \text{ s} = 94.7 \text{ min}$$

سؤال توضيحي (5) / استنتج العلاقة بين كمية المادة وشحنة أيون العنصر المتكون من إمرار تيار كهربائي في خلايا إلكتروليزية متصلة على التوالي ؟



### الحل

$$Q \cdot Mr = m \cdot n \cdot f$$

$$\therefore n = \frac{Q \cdot Mr}{m \cdot f}$$

$$n_1 = \frac{Q \cdot Mr_1}{m_1 \cdot f} \text{ (شحنة المادة الأولى) } , n_2 = \frac{Q \cdot Mr_2}{m_2 \cdot f} \text{ (شحنة المادة الثانية)}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\left( \frac{Q \cdot Mr_1}{m_1 \cdot f} \right)}{\left( \frac{Q \cdot Mr_2}{m_2 \cdot f} \right)} = \frac{Q \cdot Mr_1}{m_1 \cdot f} \times \frac{m_2 \cdot f}{Q \cdot Mr_2} = \frac{Mr_1}{m_1} \times \frac{m_2}{Mr_2}$$

$$\text{حيث : } \frac{m_2}{Mr_2} = n_2 \text{ عدد مولات المادة الثانية} , \frac{Mr_1}{m_1} = \frac{1}{n_1 \text{ عدد مولات المادة الأولى}}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{عدد مولات المادة الثانية}}{\text{عدد مولات المادة الأولى}} \text{ لذلك فإن :}$$

أي أن :

$$\frac{\text{شحنة أيون المادة الأولى } n_1}{\text{شحنة أيون المادة الثانية } n_2} = \frac{\text{عدد مولات المادة الثانية } n_2}{\text{عدد مولات المادة الأولى } n_1}$$



### أسئلة إضافية

سـ (١) / ما كمية الكهرباء بالكولوم الموجودة في :



جـ /  $72375 \text{ C}$

أ /  $0.75 \text{ mol}$  من الإلكترونات .

جـ /  $4.8 \text{ C}$

ب /  $3 \times 10^{19} e^-$

سـ (٢) / ما عدد الإلكترونات الموجودة في :



جـ /  $2.0 \times 10^{20} e^-$

أ /  $32 \text{ C}$

جـ /  $5.0 \times 10^{20} e^-$

ب /  $80 \text{ C}$

سـ (٣) / ما كمية الكهرباء بالفارادي (f) اللازمة في الحالات التالية :



أ / فصل  $\left(\frac{1}{4}\right)$  مول من الأكسجين ( $O_2$ ) عند التحليل الكهربائي لمحلول (NaOH) . جـ /  $1 f$

ب / فصل (2.5) مول من الذهب (Au) عند التحليل الكهربائي لمحلول  $Au(NO_3)_3$  . جـ /  $7.5 f$



سـ (٤) / ما الزمن بالساعات اللازم لاختزال نصف مول من أيون اليورمنجنات ( $MnO_4^-$ ) إلى ثاني أكسيد المنجنيز ( $MnO_2$ ) في الوسط القاعدي نتيجة مرور تيار كهربائي شدته ( $6 A$ ) ؟  
جـ /  $6.7 \text{ hrs}$

سـ (٥) / احسب شدة التيار الكهربائي الناتج من إمرار كمية من الكهرباء مقدارها ( $3.7 f$ ) خلال محلول إلكتروليتي لمدة (40) دقيقة ؟  
جـ /  $148.77 A$

سـ (٦) / عند إمرار تيار كهربائي لمدة ساعتين في محلول كلوريد الحديد ( $II$ ) ترسب ( $5.6 g$ ) من الحديد ، احسب شدة التيار المار في المحلول ؟  
جـ /  $2.68 A$

سـ (٧) / قام أحد الطلاب بتكوين خلية جلفانية قطبها من النحاس والخرصين ، واستطاع الحصول على تيار كهربائي شدته ( $0.5 A$ ) لمدة ( $10 \text{ min}$ ) ، ما كتلة الخرصين التي تأكسدت إلى أيونات خرصين في نصف خلية الخرصين ؟  
جـ /  $0.1 g$

سـ (٨) / احسب كتلة الكالسيوم المترسبة عند إمرار كمية من الكهرباء مقدارها ( $9650 C$ ) في مصهور كلوريد الكالسيوم ( $CaCl_2$ ) ؟  
جـ /  $2.0 g$

سـ (٩) / احسب كتلة الفضة المترسبة على ملعقة من الحديد عند إمرار تيار كهربائي شدته ( $10 A$ ) في محلول نترات الفضة ( $AgNO_3$ ) لمدة نصف ساعة ؟  
جـ /  $20.14 g$

سـ (١٠) / احسب كتلة كل من الذهب وغاز الكلور الناتجين عند مرور كمية من الكهرباء مقدارها ( $20000 C$ ) في محلول مائي لكلوريد الذهب ( $III$ ) ؟  
جـ /  $m(Cl_2) = 7.35 g$  ،  $m(Au) = 13.61 g$

سـ (١١) / أثناء عملية التحليل الكهربائي لمصهور كلوريد الألومنيوم ( $AlCl_3$ ) ترسب ( $5.4 g$ ) من الألومنيوم عند الكاثود ، ما كتلة غاز الكلور المتصاعدة عند الأنود ؟  
جـ /  $21.3 g$

سـ (١٢) / احسب الزمن بالدقائق اللازم لترسيب ( $3.175 g$ ) من النحاس عند إمرار تيار كهربائي شدته ( $10 A$ ) في محلول كبريتات النحاس ( $II$ ) ؟  
جـ /  $16.1 \text{ min}$

سـ (١٣) / يلزم مرور تيار كهربائي شدته ( $2.5 A$ ) لمدة ( $74.6 s$ ) في محلول يحتوي على أيونات ( $M^{2+}$ ) لترسيب ( $0.1086 g$ ) من العنصر ( $M$ ) ، ما هوية هذا العنصر ؟  
جـ /  $Cd$

سـ (١٤) / عند مرور تيار كهربائي شدته ( $12.0 A$ ) لمدة (4) دقائق في مصهور أحد أكاسيد الحديد ترسب ( $0.555 g$ ) من الحديد عند الكاثود ، ما الصيغة الكيميائية لأكسيد الحديد المستخدم ؟  
جـ /  $Fe_2O_3$

سـ (١٥) / احسب الزمن بالساعات اللازم لتحليل (36 g) من الماء إذا كانت شدة التيار المار في الخلية تساوي (16 A) ؟  
جـ /  $6.7 \text{ hrs}$

سـ (١٦) / احسب حجم غاز الفلور ( $F_2$ ) الناتج عند شروط ( $STP$ ) وكتلة البوتاسيوم الناتجة من إمرار تيار كهربائي شدته (10 A) لمدة (2.0 hrs) في مصهور فلوريد البوتاسيوم ( $KF$ ) تبعاً للمعادلة:  $2 KF(l) \longrightarrow 2 K(l) + F_{2(g)}$   
جـ /  $m = 29.1 \text{ g}$  ,  $V = 8.35 \text{ L}$

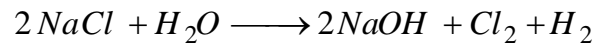
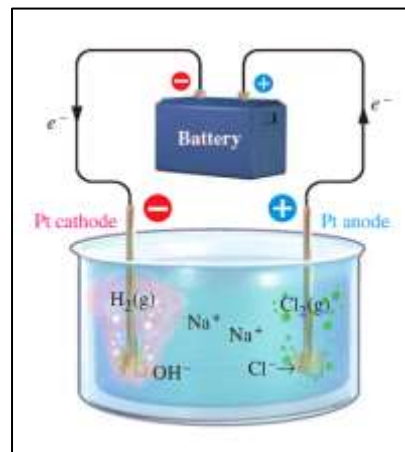
سـ (١٧) / خليتان إلكترويتان متصلتان على التوالي ، تحتوي الأولى على محلول نترات الفضة ( $AgNO_3$ ) والثانية على محلول كبريتات النحاس ( $CuSO_4$ ) II ، وعند مرور تيار كهربائي فيهما لفترة زمنية كافية زادت كتلة الكاثود في الخلية الأولى بمقدار (1.078 g) ، ما مقدار الزيادة في كتلة الكاثود في الخلية الثانية ؟  
جـ /  $0.317 \text{ g}$

سـ (١٨) / احسب حجم طبقة الذهب المترسبة على شريحة نحاس ، إذا كانت كمية الكهرباء المارة في خلية الطلاء (0.5 f) وكثافة الذهب ( $13.2 \text{ g/cm}^3$ ) ؟  
جـ /  $2.5 \text{ cm}^3$

سـ (١٩) / مررتيار كهربائي شدته (18 A) لمدة ساعة كاملة في محلول كبريتات النيكل ( $NiSO_4$ ) لطلاء وجهي رقيقة معدنية مربعة الشكل طول ضلعها (4 cm) ، احسب سمك طبقة الطلاء علماً بأن كثافة النيكل تساوي ( $8.9 \text{ g/cm}^3$ ) ؟  
جـ /  $0.138 \text{ cm}$

سـ (٢٠) / عند إجراء عملية تنقية لعينة من النحاس غير النقي تحتوي على شوائب من الحديد والفضة والذهب ، تم إمرار تيار كهربائي شدته (140 A) لمدة (482.5 s) فتناقصت كتلة المصعد بمقدار (22.26 g) في حين زادت كتلة المهبط بمقدار (22.011 g) ، احسب النسبة المئوية لكل من النحاس والحديد في عينة النحاس غير النقي ؟  
جـ /  $Fe = 0.845 \%$  ,  $Cu = 98.88 \%$

سـ (٢١) / عند التحليل الكهربائي لمحلول كلوريد الصوديوم يتصاعد غازي الهيدروجين والكلور كما هو موضح في الرسم المقابل وتبعاً للمعادلة التالية:



١- اكتب أنصاف التفاعلات الحادثة عند كل من المصعد والمهبط ؟  
٢- احسب حجم كلا من غازي الكلور والهيدروجين عند شروط  $STP$  عند مرور تيار كهربائي شدته (2.0 A) لمدة (20) دقيقة ؟  
جـ /  $V_{H_2} = V_{Cl_2} = 0.278 \text{ L}$

٣- ما النسبة بين عدد مولات غاز  $H_2$  إلى عدد مولات غاز  $Cl_2$  ؟  
جـ /  $1:1$

٤- ما النسبة بين حجم غاز  $H_2$  إلى حجم غاز  $Cl_2$  ؟  
جـ /  $1:1$

٥- إذا لزم (20 mL) من حمض  $HCl$  تركيزه (0.2 M) لمعايرة (10 mL) من المحلول الناتج بعد عملية التحليل الكهربائي ، ما كتلة  $NaOH$  المتكون إذا كان حجم المحلول (500 mL) ؟  
جـ /  $8 \text{ g}$

للاطلاع على مسائل إضافية حول حسابات التحليل الكهربائي ، اقتني كتاب " ١٥٠ مسألة محلولة في الكيمياء "